



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

**ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO
PROSTŘEDÍ**

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

VÝVOJ METOD PRO RYCHLOU ANALÝZU PŮDY

DEVELOPMENT OF METHODS FOR FAST SOIL ANALYSIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zuzana Křivánková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1461/2019 Akademický rok: 2019/20
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí
Studentka: **Bc. Zuzana Křivánková**
Studijní program: Chemie a technologie ochrany životního prostředí
Studijní obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Vývoj metod pro rychlou analýzu půdy

Zadání diplomové práce:

1. Literární rešerše na téma půdy, jejich vlastnosti, metody analýzy uhlíku a dusíku v půdní organické hmotě, využití metod termické analýzy.
2. Analýza půdy termogravimetrií.
3. Extrakce dat ze získaných záznamů, korelace dat s jinými metodami.
4. Zhodnocení získaných výsledků a diskuze.

Termín odevzdání diplomové práce: 29.5.2020:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Zuzana Křivánková
student(ka)

doc. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.
vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2020

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Předložená diplomová práce si klade za cíl rozšířit využití termogravimetrie pro analýzu obsahu organického C a celkového N v půdách. Přednosti termogravimetrie oproti konvenčním analytickým metodám tkví především v její rychlosti, nenáročnosti na předúpravu vzorku a nízké spotřebě chemických látek a rovněž také univerzálnosti – lze ji využít pro analýzu rozličných typů půd.

Dosud provedené výzkumné práce prokazují korelace mezi termogravimetrickými daty a některými vlastnostmi půd. V minulosti byly pro tyto účely termogravimetrií analyzovány neporušené půdy vystavené relativní vlhkosti 76 %. Tuto vlhkost je ale problematické dosáhnout a udržet pro většinu termogravimetrů. Nicméně, v jiné práci bylo ukázáno, že korelace lze pozorovat i u zemědělských půd vystavených nižší RH. Proto se lze domnívat, že korelace mezi TG daty existuje u půd vystavených jakékoliv RH. TG by pak bylo možné využít pro analýzu vlastností půdy za jakýchkoliv známých RH podmínek. Cílem této práce bylo ověřit tuto hypotézu a pokusit se do vztahů mezi TG a půdními vlastnostmi inkorporovat znalost RH. Z tohoto důvodu byly v této práci analyzovány neporušené půdy vystavené relativní vlhkosti 30, 55 a 76 %.

Byla prokázána existence závislosti mezi obsahem organického uhlíku a hmotnostním úbytkem mezi 320 a 330°C a mezi celkovým obsahem dusíku a hmotnostním úbytkem mezi 410 a 420°C nezávisle na relativní vlhkosti. Na jejím základě byly odvozeny rovnice, které umožňují za pomoci hmotnostních úbytků a znalosti relativní vlhkosti stanovit obsah organického C a celkového N pro relativní vlhkost v rozsahu 43 % - 76 %. Nicméně díky nízkému počtu testovaných vlhkostí se stále jedná o předběžný odhad, který je nutno dále zpřesnit analýzou půdních vzorků při dalších vlhkostech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Termogravimetrie, půda, půdní vlastnosti, kvalita půd, půdní organická hmota

ABSTRACT

The submitted diploma thesis aims to extend the use of thermogravimetry for the analysis of organic C and total N contents in soils. The advantages of thermogravimetry in comparison to conventional analytical methods are that it is a versatile technique that provides fast analysis, does not require sample pretreatment and chemicals– and can be used for the analysis of various soil types.

The research work performed so far showed correlations between thermogravimetric data and some soil properties. In the past, intact soils exposed to 76% relative humidity (RH) were analyzed by thermogravimetry for these purposes. However, this humidity is problematic to achieve and maintain for most thermogravimeters. Recent work has shown that correlations can be observed in agricultural land exposed to lower RH. Therefore, it can be assumed that a correlation between TG data exists in soils exposed to any RH. TG could then be used to analyze soil properties under any known RH conditions. The aim of this work was to verify this hypothesis and try to incorporate knowledge of RH into the relationships between TG and soil properties. For this reason, intact soils exposed to the relative humidity of 30, 55, and 76% were analyzed in this work.

It was demonstrated the dependence between organic C content and mass loss between 320 and 330°C as well as total nitrogen content and mass loss between 410 and 420°C independently of relative humidity. Based on that knowledge, we have derived equations enabling determination of the content of organic C and total N for RH ranging 43% - 76% using mass losses and knowledge of RH. Nevertheless, due to the low number of tested RH, the equations are still only preliminary and need to be improved by analyzing soil samples at a larger number of RH.

KEYWORDS

Thermogravimetry, soil, soil properties, soil quality, soil organic matter

KŘIVÁNKOVÁ, Zuzana. *Vývoj metod pro rychlou analýzu půdy* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123902>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí práce Jiří Kučerík.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Jiřímu Kučeríkovi, Ph.D. za umožnění zhotovení diplomové práce pod jeho vedením, za jeho rady, ochotu a čas.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem fakulty chemické VUT v Brně a může být použita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....

Podpis studenta

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1	Definice a základní vlastnosti půd	8
2.1.1	Pedosféra a její role v životním prostředí.....	8
2.1.2	Složení půd.....	9
2.1.3	Klasifikace půd.....	14
2.1.4	Vybrané indikátory kvality půd.....	16
2.2	Termogravimetrie.....	22
2.2.1	Princip termogravimetrie.....	22
2.2.2	Všeobecné využití v praxi	23
2.2.3	Stanovení půdních vlastností.....	24
3	CÍL PRÁCE	26
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	27
4.1	Seznam použitých přístrojů a pomůcek	27
4.2	Použitý software.....	27
4.3	Seznam použitých chemikálií a standardů	27
4.4	Seznam analyzovaných vzorků	27
4.5	Elementární analýza	27
4.6	Předúprava vzorků před TG analýzou.....	27
4.7	TG analýza	28
4.7.1	Postup analýzy.....	28
4.7.2	Podmínky TGA měření	28
5	VÝSLEDKY A DISKUZE	29
5.1	Ověření korelací při různých relativních vlhkostech	29
6	ZÁVĚR	37
7	SEZNAM LITERATURY	38
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	41
9	PŘÍLOHY	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

1 ÚVOD

V současnosti lze ze strany veřejnosti i legislativních zástupců pozorovat zvýšenou pozornost v otázkách ochrany životního prostředí. To souvisí s pochybami o dlouhodobé udržitelnosti dnešního způsobu hospodaření na planetě Zemi, což se pojí, mimo jiné, s kvalitou a stavem půd, které lidstvo obhospodařuje.

Půda je jednou ze složek životního prostředí skládající se z živé i neživé části. Její kvalita je ovlivněna mnoha především antropogenními faktory, mezi něž patří způsob obhospodařování půdy a úroveň kontaminace. Na tyto faktory reaguje nejcitlivěji mikrobiální složka půdy, a proto je důležité při hospodaření s půdami dbát na to, aby půdní makro a mikrobiom nebyl vystavován nepříznivým vlivům a stresu například nevhodným hnojením, nadužívání pesticidů apod.

Ukazuje se, že při ochraně půdy jedním z nejdůležitějších faktorů není jen porozumění jednotlivým půdním procesům, ale hlavně pochopení jejich vzájemných vztahů. Ukazuje se také, že pouze takovýto holistický přístup může zajistit udržitelnou rostlinnou a živočišnou produkci a zároveň podporovat půdní ekosystémové funkce. Kromě mikrobiologických procesů se tedy moderní věda stále více zaměřuje také na procesy spojené s biogeochemickým cyklem uhlíku. To mimo jiné odráží poznatek, že sekvestrace uhlíku je jednou z nejdůležitějších ekosystémových funkcí půdy. Uhlík je v půdě obsažen kromě anorganických forem také v organické formě (Soil Organic Carbon – SOC), která je součástí půdní organické hmoty (Soil Organic Matter – SOM).

Holistický přístup při ochraně půdy vyžaduje sledovat v půdách mnoho rozličných charakteristik, ať už kvalitativních, nebo kvantitativních. Zhodnocení kvality půdy jako celku vyžaduje současné měření různých ukazatelů, mezi něž patří obsah SOM, SOC, jílů, N_{tot} , C_{tot} , aj. To může být náročné na čas, spotřebu činidel, instrumentaci a podobně, protože každá metoda měření jednotlivých ukazatelů vyžaduje zcela jiné podmínky.

V současné době proto stále více výzkumníků zabývá problémem jak změřit větší počet půdních vlastností jedinou metodou. Dle posledních výzkumů se ukazuje, že touto metodou by mohla být termogravimetrie, protože byly objeveny korelace mezi termogravimetrickými daty naměřenými a daty naměřenými konvenčními metodami, a to pro různé půdní typy. Nevýhodou těchto stanovení je ale náročnost na experimentální podmínky, a to především vystavení půdy definované relativní vlhkosti. Tato práce si klade za cíl ověřit možnosti využití termogravimetrie pro stanovení půdních vlastností i za běžných laboratorních podmínek.

2 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část práce se zabývá úvodem do oblasti problematiky půd – definicí půdy, rozdělením a klasifikací půd dle jejich vlastností a základními ukazateli kvality půd, které bývají nejčastěji sledovány. Dále se zabývá metodou termogravimetrie – principem metody, jejími aplikacemi a možnostmi vyhodnocení dat v souvislosti se sledováním kvality půd.

2.1 Definice a základní vlastnosti půd

Nejsvrchnější část zemské kůry je tvořena různými druhy půd v závislosti na klimatických podmínkách. Všechny typy půd jsou heterogenním disperzním systémem tvořeným anorganickým sypkým materiálem a dále obsahují v různých poměrech, v závislosti na konkrétním půdním typu, vodu (přesněji řečeno půdní roztok rozpustných anorganických a organických látek), vzduch, organickou hmotu, edafon a jiné součásti.

Půda je vytvářena velmi pomalým procesem zvaným pedogeneze, během níž dochází k přeměně hornin a organických látek. Půda naopak zaniká procesem zvaným eroze – nadměrná eroze půd je aktuálním palčivým problémem celé vyspělé civilizace. Věda zabývající se studiem půd se nazývá pedologie neboli půdoznalství [1].

2.1.1 Pedosféra a její role v životním prostředí

Pedosféru je možno definovat jako ohraničený přírodní útvar, který vznikl metamorfózou hornin za účasti živých organismů, vody, vzduchu a dalších přírodních činitelů. Pedosféra je nejsvrchnější částí suchozemského povrchu Země. Půdu pak lze definovat jako libovolnou trojrozměrnou část pedosféry [1].

Pedosféra tvoří jednu z nejdůležitějších složek životního prostředí. Z hlediska rozvoje lidské společnosti patří k nejvýznamnějším přírodním zdrojům na Zemi, v posledních dekádách však také bohužel i k nejohroženějším, a to mimo jiné v důsledku nešetrné lidské činnosti. Je nejvíce využívána v oborech zemědělství a lesnictví. Role pedosféry v životním prostředí zobrazuje Obrázek 1.

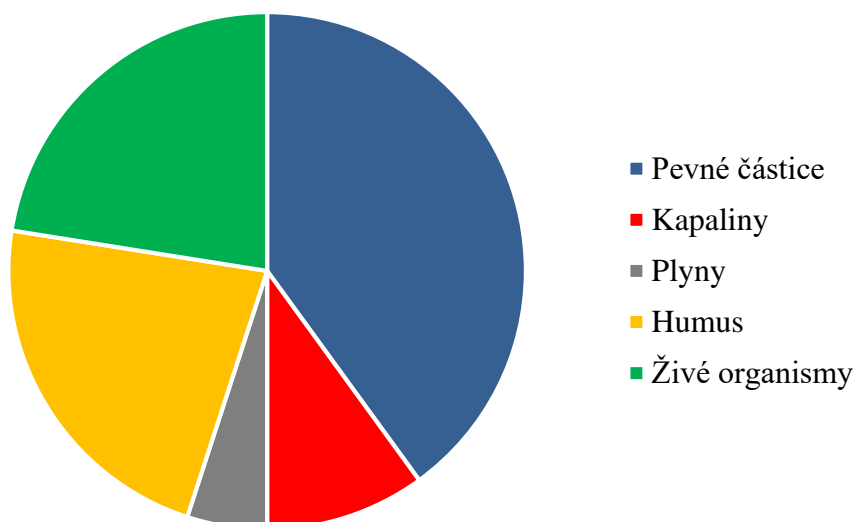
Co se týče role pedosféry šířeji vzato v oblasti celého životního prostředí, můžeme o ní říct následující. Je významným akumulátorem sluneční energie, a to zejména prostřednictvím fotosyntézy rostlin žijících díky existenci pedosféry. Současně též vytváří jakýsi filtr, který brání odnosu mikro a makroživin do světového oceánu a tím umožňuje prosperitu zemské biosféry včetně člověka. Společně s půdními mikroorganismy zajišťuje zachycování a neutralizaci rozličných druhů znečištění Země. Funguje též jako rezervoár srážkové vody, neboť zajišťuje její retenci – tím pádem má i vodohospodářský význam [1], [7].



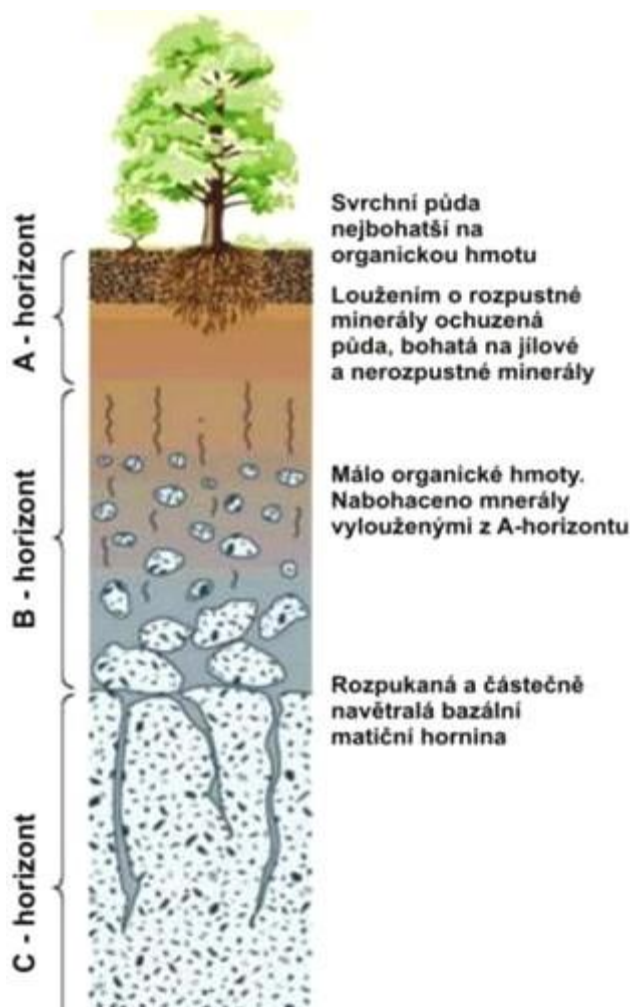
Obrázek 1: Schéma role pedosféry v životním prostředí [7]

2.1.2 Složení půd

Půda je svým složením heterogenní polydisperzní soustava, která obsahuje všechny tři fáze – pevnou, kapalnou a plynnou. Schéma půdního profilu znázorňuje Obrázek 2. Pevnou fázi tvoří půdní částice různých velikostí, kapalnou fázi se někdy říká též půdní roztok (je to voda s obsahem rozpuštěných organických a anorganických látek) a plynnou složku tvoří zejména půdní vzduch. Tyto jednotlivé složky půd jsou provázány mezi sebou vztahy, které jsou založeny na základě výměny látek a energie mezi jednotlivými složkami. Přibližné rozložení jednotlivých složek půdy znázorňuje Graf 1 [1].



Graf 1: Přibližné rozložení jednotlivých složek půdy [1]



Obrázek 2: Schéma půdního profilu [6]

2.1.2.1 Pevné částice

Pevné částice půd jsou tvořeny minerálním materiálem. Tvoří kolem 90 % hmotnosti minerální půdy, což ji činí nejvýznamnější složkou půdy. Vzniká přeměnou litosférických hornin. Pevnou složku půdy lze rozdělit na pevné částice *primární* a *sekundární*.

Primárními minerály jsou zejména oxidy, křemičitany, uhličitany, fosforečnany, sírany a sulfidy. Konkrétními zástupci jsou pak například křemen SiO_2 , kalcit CaCO_3 , dolomit CaCO_3 , MgCO_3 , sádrovec CaSO_4 , a jiné.

Sekundární minerály se nazývají též *jílové* a vznikají z primárních minerálů. Tvoří důležitou část jílového podílu půd. V drtivé většině se jedná o drobné krystalky křemičitanů [1].

2.1.2.2 Kapalná složka půdy

Kapalná složka půdy je tvořena vodou s obsahem rozpuštěných minerálních látek a je též nazývaná jako půdní roztok. Vodu pronikající do půdy lze rozdělit na dvě frakce, a to vodu *gravitační* a *kapilární*.

Gravitační voda proniká do půdy vlivem gravitačních sil ze zemského povrchu. Může dosáhnout až úrovně podzemní vody.

Vázaná voda je zadržována v půdě jinými silami než silou gravitační a tyto síly mohou působit i proti gravitaci. Jedná se zejména o síly *kapilární* mezi částicemi půdy – pak hovoříme o tzv. kapilární vodě, nebo o síly *adsorpční* – pak hovoříme o adsorpční vodě, která obaluje povrch půdních částic a je na ně adsorbována [1].

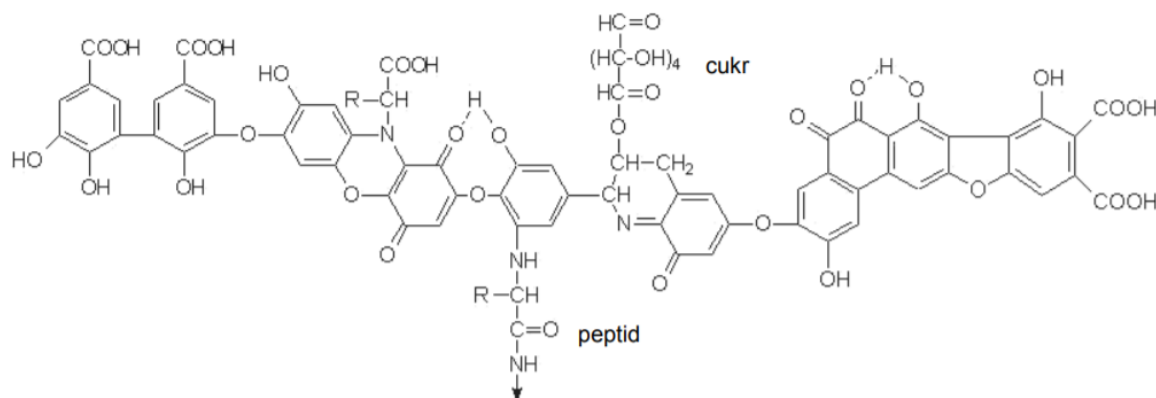
2.1.2.3 Plynná složka půdy

Plynná složka půdy se též nazývá půdní vzduch. Půda obsahuje obrovské množství pórů mezi svými částicemi. Póry, které nejsou vyplněny vodou, jsou vyplněny vzduchem pocházejícím z atmosféry. Většinou má tedy půdní vzduch podobné složení jako vzduch atmosférický, avšak vlivem různých chemických a biochemických reakcí v půdě může docházet k jeho obohacování o jiné složky, než je typické pro atmosféru. Dále dochází k obohacování půdního vzduchu o oxid uhličitý vlivem dýchání rostlinných kořenů a edafonu a v neposlední řadě o vodní páru pocházející z půdního roztoku [1].

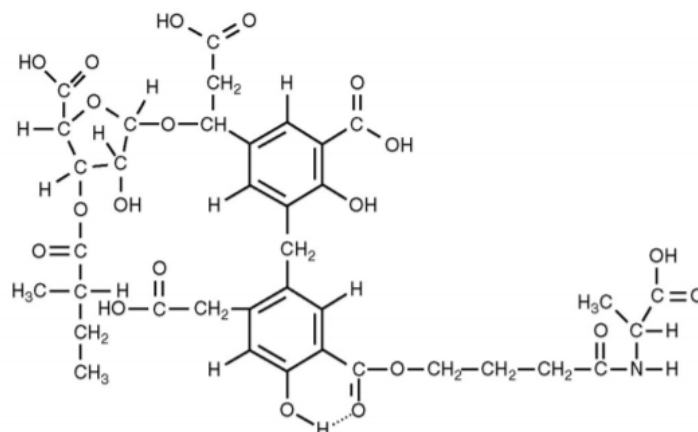
2.1.2.4 Půdní organická hmota (humus)

Dle starších hypotéz humus představuje organický neživý podíl půdy, který je tvořen odumřelými zbytky živých organismů v různém stupni rozkladu. Podstatnou část humusu tvoří humusové látky – *humínové kyseliny* (HA – Humic Acids) a *fulvokyseliny* (FA – Fulvic Acids) [1], [3].

Strukturu hypotetických humusových látek (to znamená huminových kyselin a fulvokyselin) zobrazují Obrázek 3 a Obrázek 4. Nutno říct, že přesná chemická podoba obou zmíněných struktur nebyla dosud řádně objasněna, přesto je předmětem výzkumu více než 100 let [3].



Obrázek 3: Hypotetický strukturní vzorec huminové kyseliny [3]



Obrázek 4: Hypotetický strukturní vzorec fulvokyseliny [3]

Obsah huminových látek v půdě je závislý na typu půdy – písky a jíly obsahují stopová množství huminových látek, běžné zeminy cca jedno procento, hnědé uhlí a lignit desítky procent a mimořádně vysoký obsah má např. rašelina – 80 % a více [3].

Poznatky, které přinesl výzkum v posledních letech, však nepodporují teorii půdní organické hmoty jakožto vysokomolekulárních perzistentních humusových látek. Namísto toho se přiklání k názoru, že půdní organická hmota existuje jako kontinuum postupně se rozkládajících organických látek stabilizovaných různými mechanismy, mezi něž patří adsorpce na minerály, interakce s ionty kovů, tvorba agregátů a další [20].

2.1.2.5 Živé organismy

Půda není tvořena pouze neživou složkou, ale její neoddělitelnou součástí jsou i půdní živé organismy nazývané souhrnně *edafon*. Edafon představuje přibližně 1-10 % (hm.) půdní organické hmoty. Rozděluje se na *fytoedafon* (rostlinné půdní organismy) a *zooedafon* (živočišné půdní organismy).

Fytoedafon zahrnuje bakterie, houby, řasy, aj. Uvolňují a vážou živiny a mimo to se podílejí na vytváření humusu. Zooedafon je tvořen prvoky, červy, měkkýši, členovci, hmyzem, savci, aj. Prvoci se živí bakteriemi, proto mohou nepřímým způsobem ovlivňovat rychlost uvolňování půdních živin. Ostatní zooedafon zejména mechanicky rozrušuje a kypří půdu, transformuje organické zbytky apod. [1], [5].



Obrázek 5: *Příkladným zástupcem edafonu je například krtek obecný [4].*

Nezastupitelnou roli z hlediska kvality a úrodnosti půd hraje rovněž přítomnost a činnost mikroorganismů. Jako mikroorganismy označujeme ty organismy, které nelze vidět pouhým okem, a patří sem bakterie, aktinomycety a houby neboli mikromycety. Počet mikroorganismů v půdách bývá udáván v řádech desítek až stovek milionů jedinců na gram půdy. Mikroorganismy hrají významnou roli v procesu zajišťování půdní úrodnosti – svou činností zajišťují mineralizaci složitých organických látek, jejímž produktem jsou jednoduché sloučeniny a ionty, které mohou být využity jako zdroj hmoty a energie pro vyšší půdní organismy. Nejvýznamnějšími funkcemi mikroorganismů v půdách jsou:

- Rozklad půdní organické hmoty.
- Mísení půdní organické a anorganické hmoty.
- Zvětrávání minerálů za pomoci produkce kyselin – účast na půdotvorném procesu.

Mikroorganismy často spolupracují s rostlinami a žijí s nimi v symbióze. Vyskytují se v tzv. rhizosféře, což je oblast výskytu kořenů rostlin. Některé mikroorganismy jsou schopny fixace atmosférického dusíku, který tak dodávají rostlinám pro jejich výživu. Rostliny naopak dodávají mikroorganismům uhlíkaté látky ve formě tzv. kořenových exsudátů [22].



Obrázek 6: Půdní organismy: *a* – organismy žijící ve svrchní vrstvě půdy; *b* – organismy žijící v půdě; *c* – bakterie; *d* – kroužkovci; *e* – protozoa; *f* – symbióza mikroorganismů a kořenovým systémem rostlin [22].

2.1.3 Klasifikace půd

V České republice se klasifikací půd zabývá Taxonomický klasifikační systém půd České republiky, který rozděluje půdy do různých taxonomických kategorií. Hierarchie klasifikace půd je následující:

- referenční třídy půd
- půdní typy
- půdní subtypy
- variety

- fáze
- formy

Základní přehled typů půd dle Taxonomického klasifikačního systému půd České republiky udává Tabulka 1 [2].

Tabulka 1: Přehled taxonomické klasifikace různých typů půd [2]

Referenční třídy půd	Půdní typy	Označení půdního typu
Leptosoly	Litozem	LI
	Ranker	RN
	Rendzina	RZ
	Pararendzina	PR
Regosoly	Regozem	RG
Fluvisoly	Fluvizem	FL
	Kolvizem	KO
Vertisoly	Smonice	SM
Černosoly	Černozem	CE
	Černice	CC
Luvisoly	Šedozem	SE
	Hnědozem	HN
	Luvizem	LU
Kambisoly	Kambizem	KA
	Pelozem	PE
Andosoly	Andozem	AD
Podzosoly	Krypropodzol	KP
	Podzol	PZ
Stagnosoly	Pseudoglej	PG
	Stangnoglej	SG
Glejsoly	Glej	GL
Natrisoly	Slanec	SK
Salisoly	Solončak	SC
Organosoly	Organozem	OR
Antroposoly	Kultizem	KU
	Antropozem	AN

2.1.4 Vybrané indikátory kvality půd

Význam pojmu „kvalita půdy“ se může lišit v závislosti na tom, co od půdy zrovna očekáváme, tedy na prioritách přisuzovaných jednotlivým funkcím půdy – zemědělskou úrodnost, ekosystémové vztahy, socioekonomické vztahy, aj. Novodobé lesnické a zemědělské obory již neuznávají jako jediné indikátory kvality půdy její produkční schopnost, ale i vlastnosti důležité pro zachování ekologické rovnováhy v životním prostředí [7].

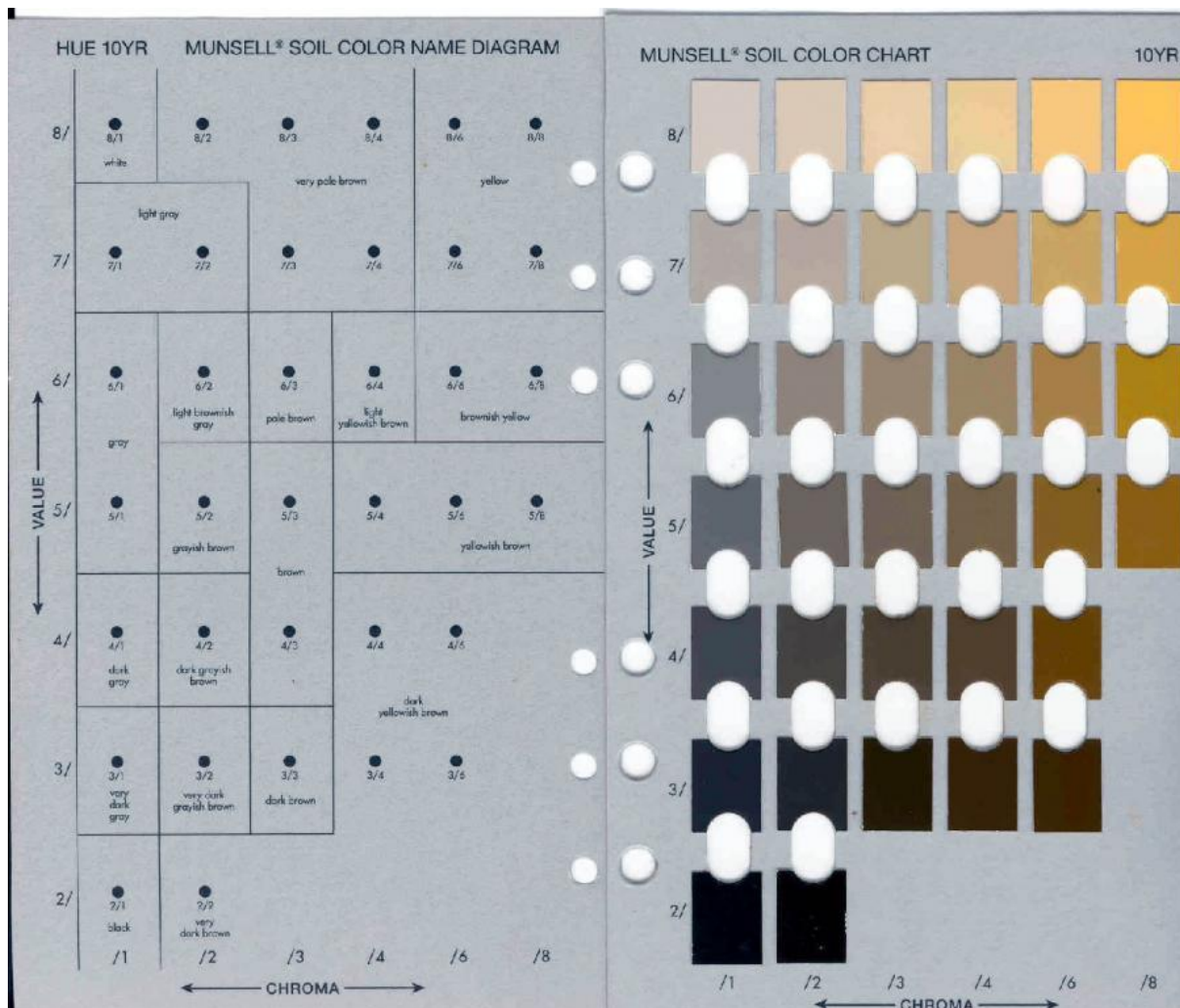


Obrázek 7: Výchozí aspekty pro určování kvality půd z hlediska jejich funkcí produkčních i ekologických [7]

Podat vyčerpávající přehled všech vlastností půd by bylo nad rámec této práce. Níže uvedené podkapitoly proto pojednávají o těch vlastnostech půd, které se v praxi nejčastěji používají pro popis a vyhodnocení stavu půdy.

2.1.4.1 Barva

Určuje se barva každého individuálního diagnostického horizontu. V povrchových horizontech s obsahem humusu ovlivňuje barvu zejména obsah organické hmoty, v podpovrchových substrátových horizontech se pak jedná zejména o minerální složení a oxido-redukční podmínky. K přesnému určení barvy půdy slouží Munsellova barevná škála, která obsahuje stupnice se třemi charakteristikami – barva (hue), sytost (chroma) a odstín (value) [7].



Obrázek 8: Munsellova barevná škála – měřicí tabulka [8]

2.1.4.2 Struktura

Struktura půdy vyhodnocuje velikost, tvar, vyvinutost a stav povrchu půdních agregátů, taktéž i prostory mezi nimi. Není kvantifikována, určuje se pouze kvalitativně, základní typy půdní struktury jsou *kulovitá*, *polyedrická*, *hranolovitá*, *deskovitá*. Je nutno ji stanovovat pro jednotlivé horizonty.

Závisí na faktorech:

1. fyzikálních
 - a. vysychání
 - b. zvlhčování
 - c. mrznutí
 - d. tání
2. chemických
 - a. mineralogická skladba
 - b. chemické vazby
 - c. tvorby agregátů

3. biologických

- a. vliv kořenů, půdních živočichů, a mikroorganismů [7].

2.1.4.3 Textura (zrnitost)

Textura neboli zrnitost prezentuje velikost a poměrné zastoupení jednotlivých frakcí půdy. Měří se pomocí soustavy sít, kdy se vysušená půda nechá propadávat postupně sítí o čím dál menší velikosti ok. Podíl, který zůstane na sítu, se nazývá frakce – viz Tabulka 3. Používají se různé klasifikace zrnitosti, v ČR je to pak nejčastěji Novákova klasifikace – viz Tabulka 2. Většina půd v České republice spadá do kategorie střední – hlinitá [7].

Tabulka 2: Novákova klasifikace zrnitosti půd [7]

procento jílnatých částic <0,01 mm	označení půdního druhu		
0-10	píščitá	p	lehké
10-20	hlinitopíščitá	hp	
20-30	píščitohlinitá	ph	střední
30-45	hlinitá	h	
45-60	jílovitohlinitá	jh	těžké
60-75	jílovitá	jv	
>75	jíl	j	

Tabulka 3: Seznam frakcí dle velikosti zrn [7]

velikost částic v mm	název frakce
<0,001	jíl
0,001-0,01	jemný a střední prach
0,01-0,05	hrubý prach
0,05-0,25	jemný písek
0,25-2,00	střední písek
2-8	drobný štěrk
8-32	střední štěrk
32-128	hrubý štěrk
128-256	Kameny
>256	Balvany

2.1.4.4 Voda v půdě

Voda obsažená v půdě je důležitým faktorem ovlivňujícím úrodnost půdy. Momentální množství vody v půdě závisí především na srážkách a na výšce hladiny podzemní vody. Na textuře a struktuře poté závisí schopnost půdy zadržovat vodu. Ta je určena půdními hydrolimity:

- maximální vodní kapacita (maximální množství vody, jež půda dokáže zadržet)

- polní vodní kapacita (obsah půdní vody po ztrátě gravitační vody)
- bod vadnutí (obsah vody, při kterém již kořenový systém rostlin není schopen překonat síly poutající částice vody k částicím půdy)
- maximální kapilární vodní kapacita (schopnost půdy zadržovat vodu pro potřeby rostlin)
- retenční vodní kapacita (obsah vody zadržený v kapilárních pórech)

V praxi (zejména v terénu) se vlhkost půdy určuje pocitem, jaký vyvolává půda při stisku v dlani. Využívá se stupnice:

1. vyprahlá
2. suchá
3. vlhá
4. vlhká
5. mokrá

Obsah vody v půdě je mimo jiné důležitým faktorem pro určení barvy a konzistence [7].

2.1.4.5 Objemová hmotnost

Určuje hmotnost jednoho metru krychlového půdy v jejím přirozeném uložení (t.m^{-3} nebo g.cm^{-3}). Objemová hmotnost bývá nižší než měrná hmotnost. Je podmíněna faktory, jako jsou zrnitost, struktura, vlhkost, pórovitost. Je podstatným faktorem pro hodnocení stupně zhutnění, tzv. pedokompakce, což je zásadní negativní rys půd zejména v moderním zemědělství [7].

2.1.4.6 Pórovitost

Vystihuje v procentech celkový objem volného prostoru, který není vyplněn pevnými částicemi půdy. Půdní póry se dělí dle velikosti do skupin: nekapilární, semikapilární, kapilární [7].

2.1.4.7 Obsah humusu

Dalším významným parametrem ovlivňujícím úrodnost půdy je obsah humusu. Stanovuje se změřením oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) a vynásobením výsledku koeficientem 1,724. Uvedený výpočet je platný za podmínky, že humus obsahuje 58 % uhlíku.

Mimo množství humusu je také důležité jeho složení. To se udává jako poměr uhlíku k celkovému dusíku (C:N) v půdě nebo poměrem HA a FA. Je-li poměr C:N nižší než 10, je to považováno za ukazatel dobré kvality půdy. Poměr HA:FA u černozemí je většinou vyšší než 2. Vyhodnocení obsahu humusu v půdách přehledně zobrazuje Tabulka 4 [7].

Tabulka 4: Vyhodnocení obsahu humusu v půdách [7]

Půdy	Obsah humusu v půdách (% hm.)	
	lehké	střední a těžké
Bezhumózní	0	0
Slabě humózní	<1	<2
Středně humózní	1-2	2-5
Silně humózní	>2	>5

2.1.4.8 Půdní reakce

Půdní reakce neboli pH je aktivitou vodíkových iontů přítomných v půdním roztoku ve formě oxoniových iontů H_3O^+ . Organické a minerální kyseliny a zásady v půdním roztoku mají přímý vliv na pH půd.

K okyselení půd přispívá:

- eliminace bází z organických koloidů, jílových minerálů a z amorfních gelů,
- nitrifikační procesy
- intenzivní biologická činnost půdy (tvorba H_2CO_3),
- hnojení fyziologicky kyselými hnojivy,
- kyselé spady (SO_2 , NO_x , HF aj.).

K alkalizaci půd přispívá:

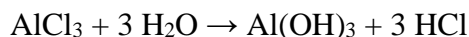
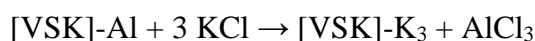
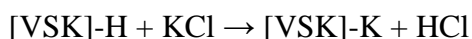
- vysoký obsah Na^+ v prostředí,
- vysoký obsah CaCO_3 , respektive $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$,
- intenzivní biologická činnost půdy,
- používání hnojiv s vyšším obsahem sodíku.

Díky tomu, že půda je třífázový systém, rozlišujeme u půd dvě základní formy kyselosti:

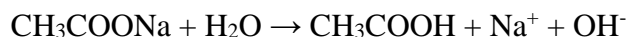
1. Kyselost **aktivní** (aktuální)
2. Kyselost **potencionální**, která se dělí na:
 - a) **výměnnou**
 - b) **hydrolytickou**

Aktivní kyselost charakterizuje koncentraci H_3O^+ iontů v půdním roztoku a stanovuje se jako pH půdního výluhu ve vodě.

Výměnná kyselost je dána adsorbovanými H^+ a Al^{3+} ionty, které lze vytěsnit z půdního sorpčního komplexu pomocí bazických iontů obsažených v roztoku neutrální soli KCl (CaCl_2). Využívá se pro stanovení potřeby vápnění v zemědělství a pro kategorizaci půd dle kyselosti.



Hydrolytická kyselost se měří vytěsněním pevněji vázaných H^+ pomocí alkalických solí (octanu sodného nebo vápenatého):



V roztoku se poté projeví kyselost vzniklé kyseliny octové [7], [11].

Tabulka 5: Kritéria pro hodnocení půdní reakce (příloha č. 5 k vyhl. č. 275/1998, ve znění pozdějších předpisů) [7]

hodnota výměnného pH	půdní reakce
<4,5	extrémně kyselá
4,6-5,0	silně kyselá
5,1-5,5	kyselá
5,6-6,5	slabě kyselá
6,6-7,2	neutrální
7,3-7,7	alkalická
>7,7	silně alkalická

2.1.4.9 Sorpční vlastnosti

Další důležitou charakteristikou půd je jejich schopnost sorpce živin (přírodně se vyskytujících, anebo uměle dodaných); tato vlastnost však také souvisí se schopností sorpce nebezpečných kontaminantů [7].

Celková sorpční kapacita – T

Největší množství kationtů, které může být sorbováno v 1 kg zeminy.

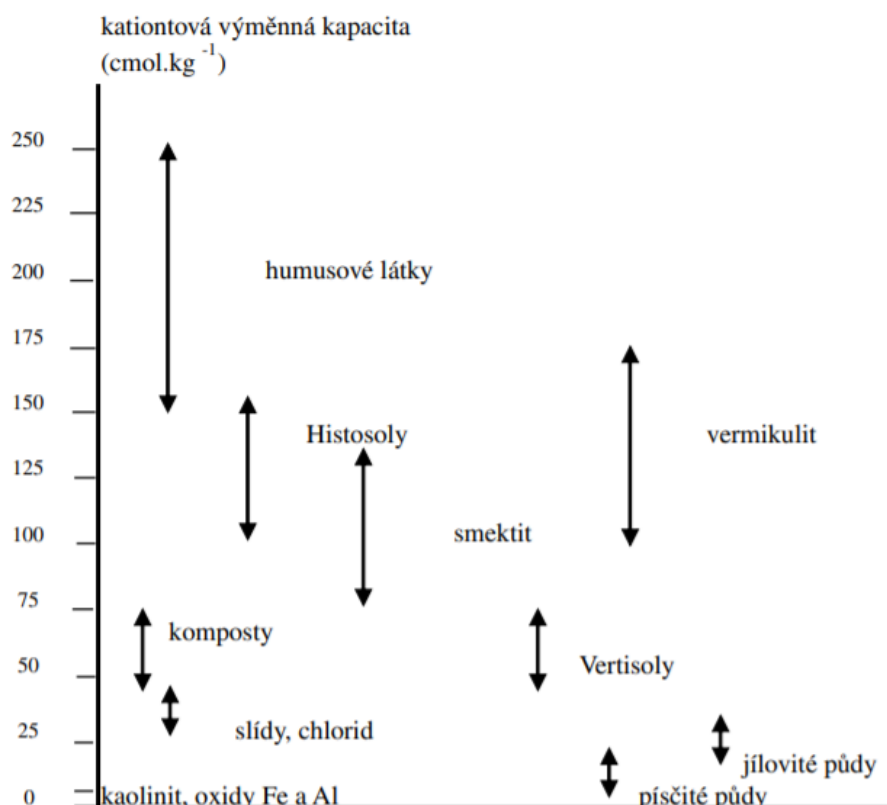
Množství sorbovaných bází – S

Udává množství bazických kationtů (Ca, Mg, K, Na) v 1 kg zeminy.

Nasycenost sorpčního komplexu v % – V

Udává podíl výměnných bazických kationtů v % z celkové sorpční kapacity:

$$V = \frac{S}{T} \cdot 100$$



Obrázek 9: Kationtová výměnná kapacita vybraných druhů půd [7]

2.1.4.10 Obsah uhlíku

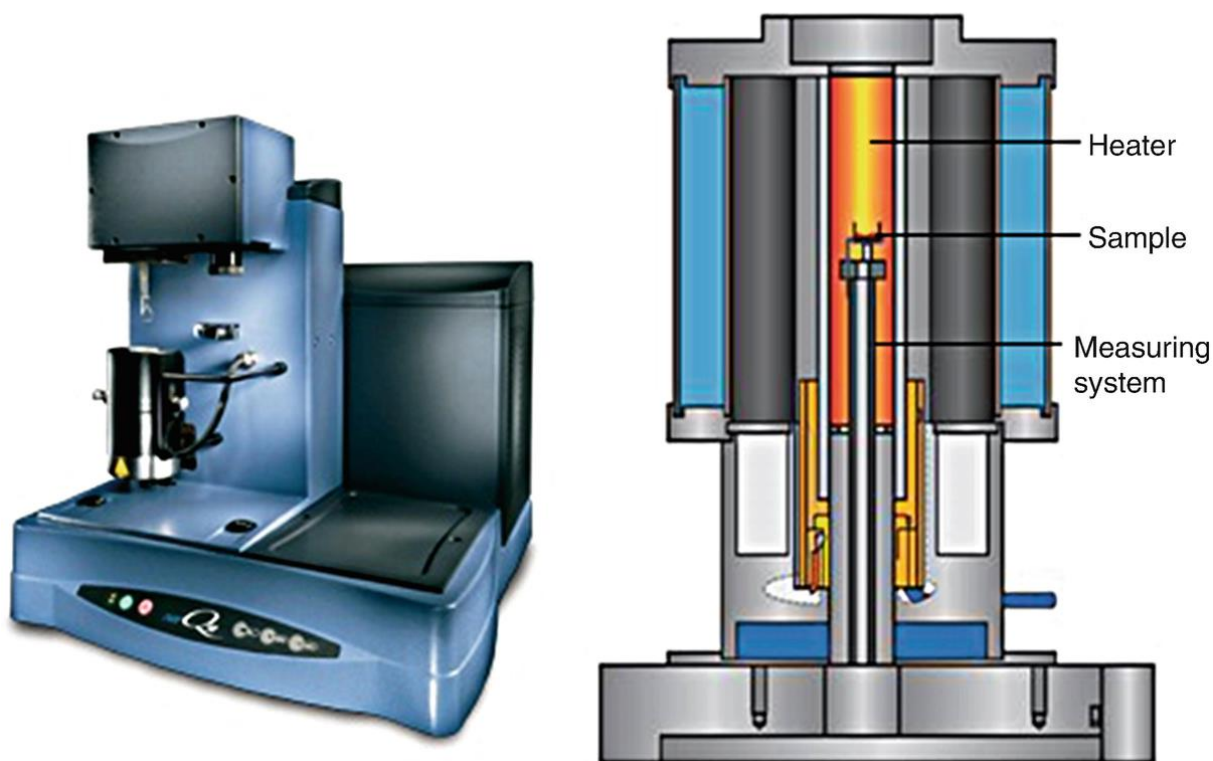
Uhlík je v půdách přítomen ve formě anorganických uhličitánů a rovněž ve formě oxidovatelné půdní organické hmoty – tento uhlík je pak také označován jako C_{org} nebo C_{ox} . Obsah C_{org} v půdách lze stanovit například kolorimetricky. Uhlík přítomný v organických sloučeninách se oxiduje v prostředí kyseliny sírové pomocí dichromanu draselného. Přitom jsou redukovány ionty Cr^{6+} na ionty Cr^{3+} . Koncentraci iontů Cr^{3+} lze poté stanovit kolorimetricky [21].

2.2 Termogravimetrie

Tato kapitola si klade za cíl seznámit čtenáře s principem metody termogravimetrie (TG) a představit, jak lze termogravimetrii využít k měření některých vlastností půd a tím zjednodušit celý proces monitoringu nahrazením konvenčních metod jedinou metodou, a to právě termogravimetrií.

2.2.1 Princip termogravimetrie

Principem termogravimetrie je kontinuální sledování změn hmotnosti pevného nebo kapalného vzorku v závislosti na teplotním programu. Měřený vzorek je umístěn do držáku, který je vsunut do malé pece, je spuštěn teplotní program a je zaznamenávána hmotnost. Moderní přístroje umožňují automatické sledování změn hmotnosti. Termogravimetrie představuje jednoduchou a velice rychlou analytickou metodu [9], [18].



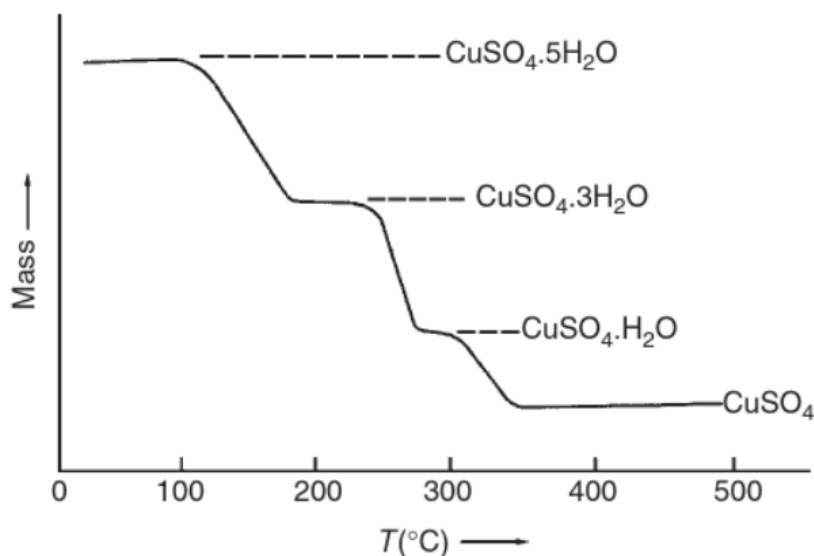
Obrázek 10: Vlevo termogravimetr, vpravo schéma měřicí části [10]

2.2.2 Všeobecné využití v praxi

TG je jednoduchou, ale zároveň efektivní metodou pro vyhodnocování tepelné stability pomocí monitorování změn hmotnosti. Některé chemické reakce jsou doprovázeny změnami hmotnosti – dehydratace, desorpce, dekompozice, oxidace. V anorganické i organické chemii lze termogravimetrii využít k měření:

- vlhkosti
- obsahu krystalově vázané vody
- sušení do konstantní hmotnosti
- detekci limitů stability fyzikálních fází látky
- kvantitativní analýze založené na ztrátě hmotnosti v důsledku rozkladných reakcí, aj. [9], [18].

Obrázek 11 znázorňuje příklad termogravimetrické křivky při měření tepelné stability pentahydrátu síranu měďnatého. Na obrázku lze vidět úbytek hmotnosti vzorku v závislosti na teplotě.



Obrázek 11: Příklad termogravimetrické křivky rozkladu pentahydrátu siranu měďnatého [18]

2.2.3 Stanovení půdních vlastností

Předchozí výzkumy prokázaly, že existují lineární korelace mezi tepelně dosaženými hmotnostními úbytky měřených vzorků půd upravených na určitou vlhkost a konvenčními metodami změřenými indikátory půdní kvality. Tento fakt poukazuje na to, že některé indikátory půdní kvality je možno měřit právě termogravimetricky [14], [15], [16].

Termogravimetrie je jednou z mála metod, kterou lze použít pro měření vzorků půd při minimální úpravě vzorku – tedy bez použití extrakce, mletí apod. TG umožňuje kvantifikaci půdních charakteristik, jakými jsou například obsah organického a anorganického uhlíku, dusíku, jílů, minerální složení, obsah půdní organické hmoty a rovněž nese potenciál pro odhalení dynamiky působení činnosti půdních mikroorganismů. Dále může být TG využita pro určení vlhkosti půdy nebo obsahu krystalově vázané vody. Velmi důležitým přínosem TG je úspora času a financí při analýze půd [14], [15].

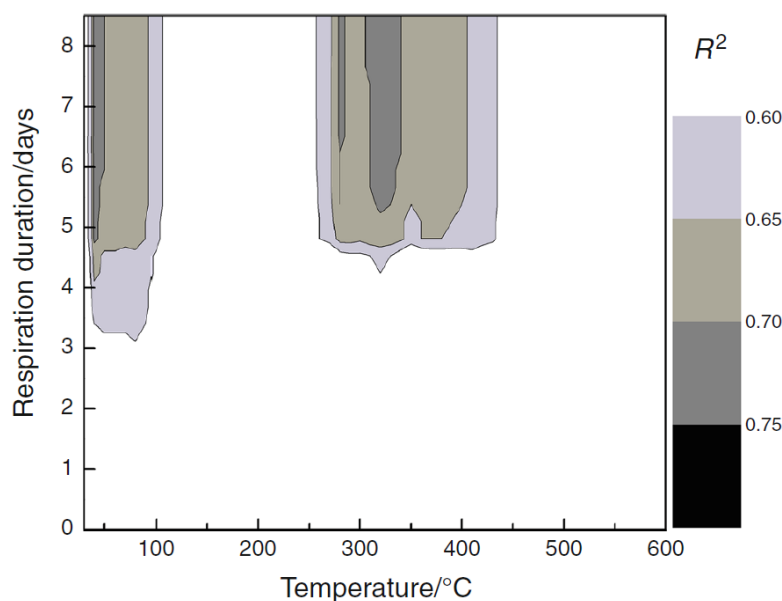
Využití TG v pedologických oborech již bylo dobře prozkoumáno. TG byla využita ke studiu stability a náchylnosti k degradaci půd, k monitorování změn půdní organické hmoty, k určení stupně humifikace, k vyhodnocení stability půdních agregátů, a dokonce i pro zkoumání složení a stability půdní anorganické hmoty, jílových minerálů a prekurzorů půdní organické hmoty. Dnes je již dobře známo, že zahřívání půdního vzorku vyvolává ztrátu hmotnosti nejprve v důsledku odpařování vlhkosti (do 180-200 °C), následuje degradace labilních a stabilních frakcí SOM (kolem 200-600 °C) a nakonec degradace půdní anorganické hmoty, hlavně uhličitánů (nad 600 °C) [19].

Následující podkapitoly přinášejí vhled do současného stavu řešené problematiky tím, že uvádějí vybrané půdní charakteristiky, které byly zkoumány pomocí TG.

2.2.3.1 Mikrobiální aktivita

Byly provedeny výzkumy zaměřené na vztahy mezi mikrobiální aktivitou reprezentovanou uvolněným CO₂ během dýchání a TG daty (hmotnostních úbytků) vzorku půd odebraných v severní a jižní Americe, na západní Sibíři a v Německu [14].

Obrázek 12 ukazuje koeficient R^2 lineární závislosti mezi trváním celkové respirační aktivity ve dnech (reprezentovanou jako mg CO₂ na 100 g půdy) a termálními hmotnostními úbytky měřenými v 10 °C intervalech. Osa X znázorňuje teplotu, při které vznikla ztráta hmotnosti, osa Y znázorňuje trvání respirační aktivity. Vnitřní část grafu představuje rastr, jehož každý bod zbarvený do různých stupňů šedé znázorňuje hodnotu příslušného koeficientu determinace R^2 [14].



Obrázek 12: Koeficient determinace R^2 lineárních závislostí mezi trváním celkové respirační aktivity ve dnech a termálními hmotnostními úbytky [14]

2.2.3.2 Obsah půdní organické hmoty (humusu)

Jednou z často využívaných metod pro měření obsahu půdní organické hmoty je měření hmotnostních ztrát spalováním (Mass Loss on Ignition = MLI). Tato metoda má však svá omezení, protože existuje velké množství různých faktorů, které ovlivňují její přesnost: typ zařízení (pece), hmotnost vzorku, trvání a teplota spalování, obsah jílu ve vzorku apod. [17].

3 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda existují korelace mezi tepelně dosaženými hmotnostními úbytky a obsahem organického uhlíku (resp. celkového dusíku) u vzorků přírodních půd (z oblasti západní Sibíře).

Bylo třeba elementární analýzou změřit uvedené ukazatele kvality půdy (organický uhlík a celkový dusík).

Následně bylo třeba ponechat vzorky v exsikátoru a vystavit je působením přesycených roztoků solí potřebné relativní vlhkosti. Po dosažení rovnováhy mohly být vzorky podrobeny termogravimetrické analýze. Vzorky byly měřeny při čtyřech různých relativních vlhkostech.

Data byla vyhodnocena s využitím programu MS Excel a byla ověřena existence korelací mezi TML dosaženém v určitém 10°C intervalu a obsahem sledovaných látek (C_{org} a N_{tot}) při určité relativní vlhkosti.

Finálním cílem práce bylo nalézt rovnice pro výpočet C_{org} a N_{tot} pomocí vstupních parametrů TML dosaženém v určitém 10°C intervalu za běžných laboratorních podmínek, tedy nezávisle na relativní vlhkosti.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Seznam použitých přístrojů a pomůcek

- TGA 550 (TA Instruments)
- Exsikátory
- Petriho misky
- Laboratorní lžíce

4.2 Použitý software

- Trios (TA Instruments)
- MS Excel

4.3 Seznam použitých chemikálií a standardů

K vytvoření požadované atmosféry byly použity přesycené roztoky následujících solí:

- CaCl_2 pro 30 % RH
- K_2CO_3 pro 43 % RH
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ pro 55% RH
- NaCl pro 76 % RH

4.4 Seznam analyzovaných vzorků

Všechny odebrané a analyzované vzorky půd pocházejí z oblasti západní Sibíře a byly odebrány výzkumnou skupinou profesora Siewerta z univerzity Aplikovaných věd Drážďany v červenci 2017. Bližší informace o odebraných vzorcích půd včetně čísel vzorků udává **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Seznam vzorků využitých pro jednotlivé série měření udává **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

4.5 Elementární analýza

U všech měřených vzorků byl změřen obsah organického uhlíku a celkového dusíku elementární analýzou. Vzorky byly nadrceny, vysušeny při 105 °C a hodnoty obou ukazatelů byly změřeny elementární analýzou (analyzátor Leco TruSpec CN).

4.6 Předúprava vzorků před TG analýzou

Všechny měřené vzorky byly po odběru přesety přes 2 mm síto. Následně bylo přibližně 20 g každého vzorku umístěno do Petriho misky a ponecháno minimálně 21 dní v exsikátoru společně s přesyceným roztokem příslušné soli pro dosažení potřebné relativní vlhkosti. Pro vlhkost 30 % byl použit přesycený roztok CaCl_2 , pro vlhkost 43 % přesycený roztok K_2CO_3 , pro vlhkost 55 % roztok $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a pro vlhkost 76 % roztok NaCl . Přesycený roztok tak zajistil po ustavení rovnováhy mezi roztokem a vzduchem a následného ustavení rovnováhy mezi vzduchem a půdou potřebnou relativní vlhkost. Po dosažení potřebné relativní vlhkosti byly vzorky podrobeny TG analýze.

4.7 TG analýza

4.7.1 Postup analýzy

Do aluminových pánviček v autosampleru termogravimetru TGA 550 bylo odebráno přibližně 200 mg vzorku. Teplotní program byl nastaven v rozmezí 30–950 °C po dobu 4 hodin. Měření každého vzorku bylo opakováno minimálně třikrát.

Aby byla pro měření zajištěna potřebná počáteční relativní vlhkost vzorku, byly vzorky umístěné v autosampleru rovněž vystaveny působení atmosféry o příslušné relativní vlhkosti, která byla zajištěna přítomností přesyceného roztoku příslušné soli.

4.7.2 Podmínky TGA měření

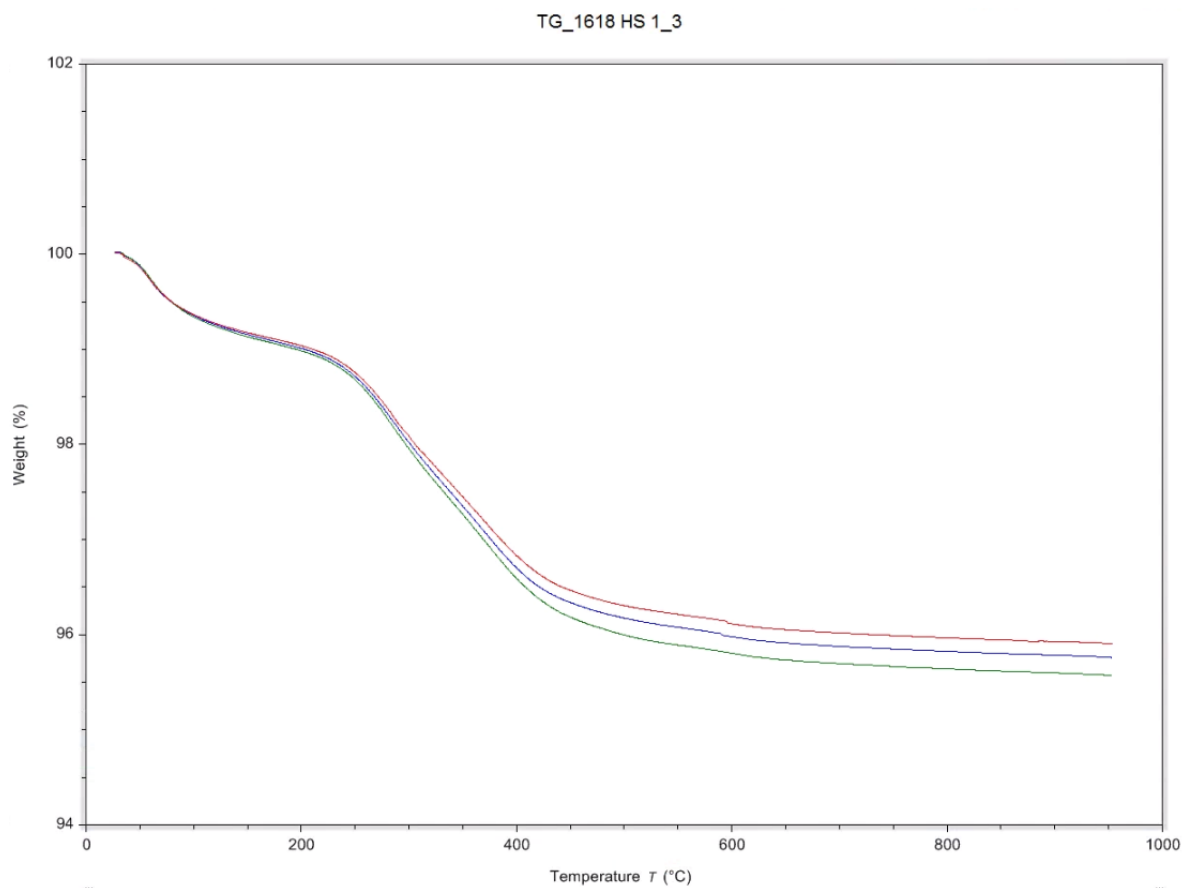
Všechny podmínky TGA měření uvádí Tabulka 6.

Tabulka 6: Podmínky měření

Parametr	Hodnota
Ochranný plyn	N ₂
Rychlost ochranného plynu	40 ml/min
Plyn reakční atmosféry	Vzduch
Rychlost reakčního plynu	100 ml/min
Teplotní gradient	5 °C/min
Počáteční teplota	Laboratorní teplota (cca 20 °C)
Konečná teplota	950 °C
Frekvence vážení vzorku	10× za minutu
Typ pánvičky	Al ₂ O ₃
Hmotnost vzorku	cca 200 g
Doba chlazení po skončení měření	20 min

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

S využitím programu Trios od společnosti TA Instruments byla zaznamenávána závislost hmotnosti měřeného vzorku v miligramech a v procentech z počáteční hodnoty na teplotě ve °C. Změřené závislosti hmotnosti vzorku na teplotě uvádí Obrázek 13.



Obrázek 13: Výstup z programu Trios – vzorek č. 1, tři měření.

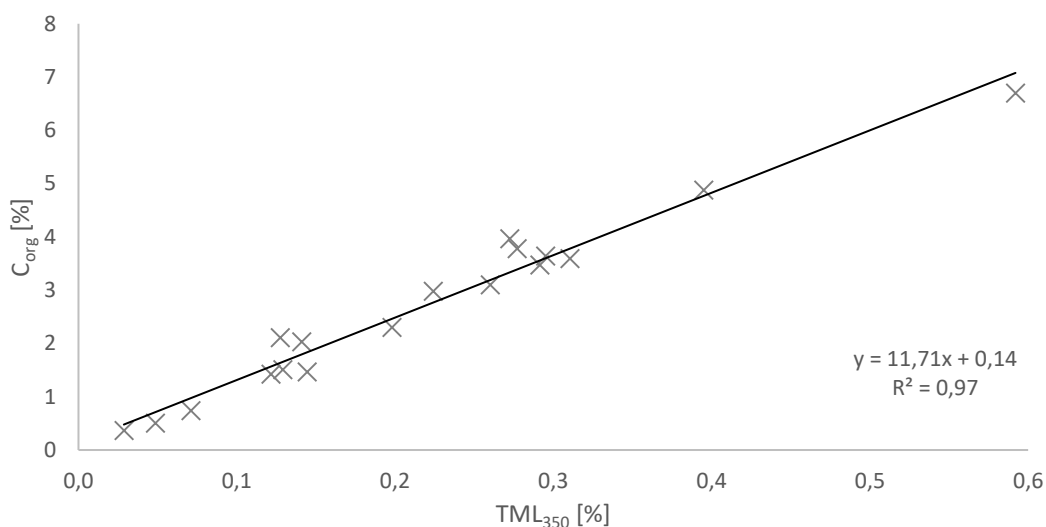
Pro následné výpočty byly odečítány hmotnostní úbytky v závislosti na teplotě. Takto získaná data byla rozdělena do 10°C teplotních intervalů, čímž byly získány hodnoty TML (Temperature Mass Losses). Například hodnota TML_{330} udává teplotní úbytek hmotnosti mezi teplotami 320–330 °C v procentech z původního množství vzorku na počátku měření. Takto bylo získáno 92 TML pro každý vzorek, přičemž každý vzorek byl změřen dvakrát (v případě odchýlných naměřených hodnot pak vícekrát) a data byla zprůměrována aritmetickým průměrem.

5.1 Ověření korelací při různých relativních vlhkostech

Jak již bylo zmíněno v předcházejících kapitolách, doposud bylo pozorováno, že TML koreluje s SOC při 76% RH pro přírodní půdy a při 43% pro zemědělské půdy.

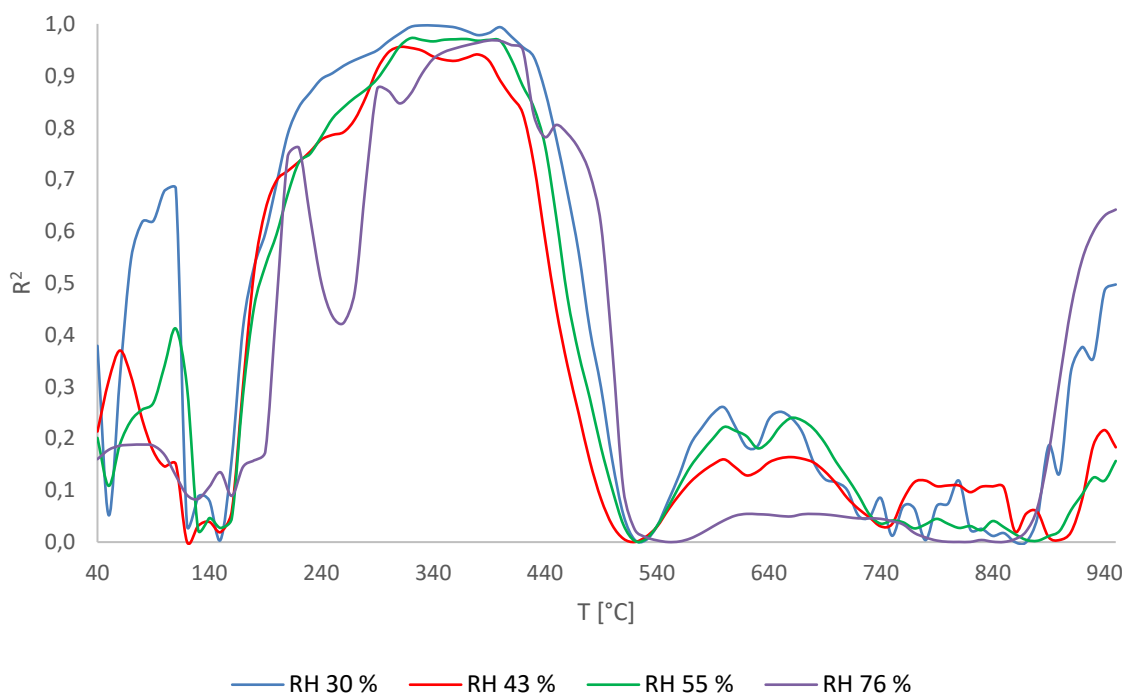
V této práci bylo nejprve ověřeno, zda existuje lineární korelace mezi výsledky elementární analýzy a TML zvláště pro obsah organického uhlíku C_{org} a pro obsah celkového dusíku N_{tot} , a to při relativních vlhkostech 43 %, 55 % a 76 %. Měření při 30 % RH nebylo do vyhodnocení

zahrnuto, protože později bylo zjištěno, že nebylo dosaženo potřebné RH (skutečná RH byla dle dodatečného měření přibližně 50 %).

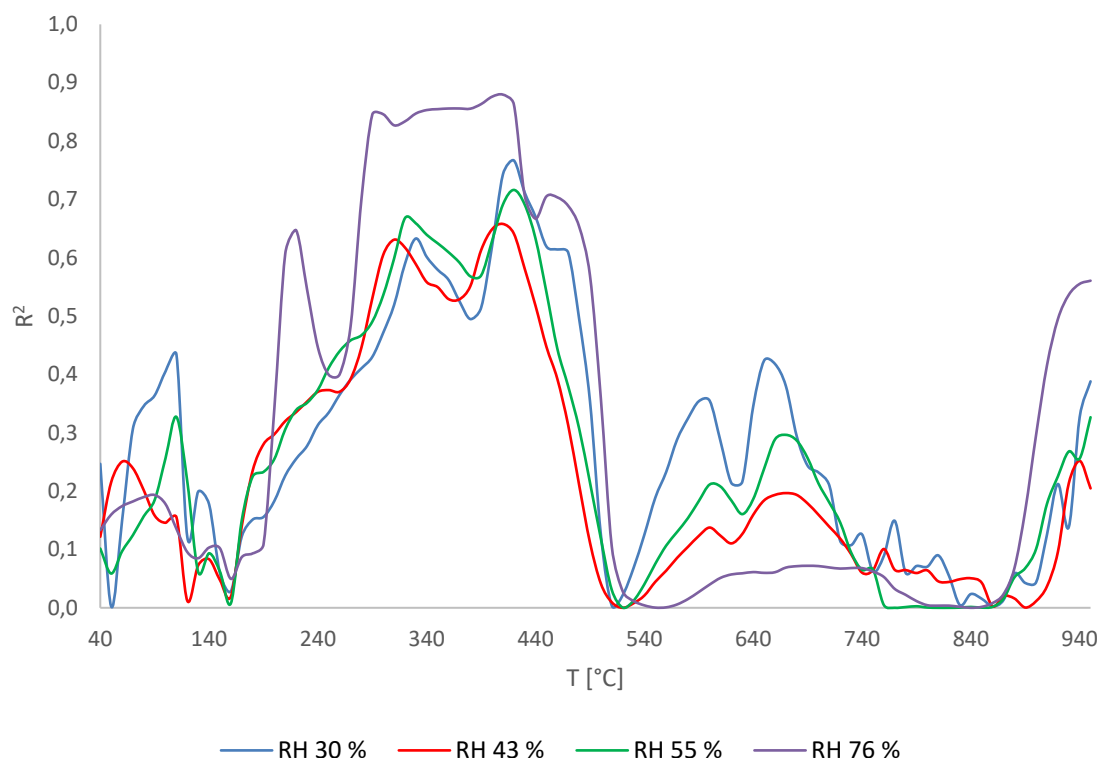


Graf 2: Korelace mezi TML při 340-350 °C a obsahu C_{org} s koeficientem determinace $R^2 = 0,97$ při RH 55 %.

Grafy 3 a 4 znázorňují závislost koeficientu determinace na teplotě pro parametry C_{org} a N_{tot} při různých RH. K výpočtu byla využita druhá mocnina funkce CORREL v programu MS Excel.



Graf 3: Závislost koeficientu determinace R^2 na teplotě T pro C_{org}.



Graf 4: Závislost koeficientu determinace R^2 na teplotě T pro N_{tot} .

Cílem práce bylo sestavit rovnice pro určení obsahu C_{org} a N_{tot} pomocí změřeného TML při určitém 10°C intervalu nezávisle na relativní vlhkosti – přesněji řečeno nastínit, zdali je to vůbec možné (pro vytvoření validní měřicí TG metody by bylo potřeba změřit řady vzorků při více relativních vlhkostech).

Za tímto účelem byly vybrány zvlášť pro C_{org} a N_{tot} teplotní intervaly TML s nejvyšším koeficientem determinace pro daný parametr (C_{org} a N_{tot}). Teplotní intervaly byly zvoleny metodou kontrolního součtu v programu MS Excel. Byl zvolen vždy ten teplotní interval, který odpovídal nejvyššímu součtu R^2 mezi C_{org} resp. N_{tot} a TML pro všechny čtyři relativní vlhkosti.

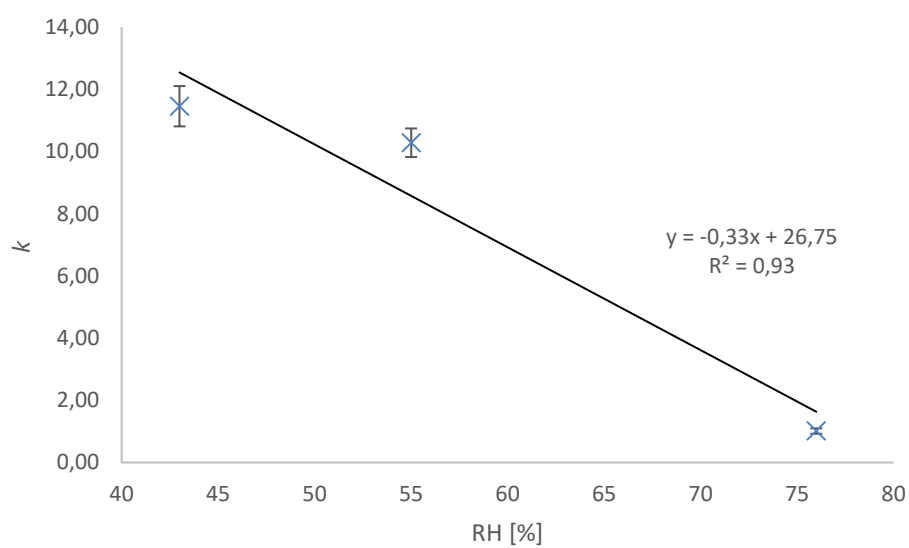
Tabulka 7: Hodnoty TML zvolené pro výpočet příslušných měřených veličin.

Měřená veličina	C _{org}		N _{tot}
Teplotní interval	320-330 °C (TML ₃₃₀)	340-350 °C (TML ₃₅₀)	410-420 °C (TML ₄₂₀)
Rovnice 30 % RH	C _{org} = 10,05 · TML ₃₃₀ – 0,02	C _{org} = 10,93 · TML ₃₅₀ + 0,12	N _{tot} = 1,09 · TML ₄₂₀
	R ² = 1,00	R ² = 1,00	R ² = 0,77
Rovnice 43 % RH	C _{org} = 11,45 · TML ₃₃₀ + 0,24	C _{org} = 13,85 · TML ₃₅₀ + 0,16	N _{tot} = 1,68 · TML ₄₂₀ – 0,04
	R ² = 0,95	R ² = 0,93	R ² = 0,75
Rovnice 55 % RH	C _{org} = 10,28 · TML ₃₃₀ + 0,17	C _{org} = 11,71 · TML ₃₅₀ + 0,14	N _{tot} = 1,28 · TML ₄₂₀ – 0,02
	R ² = 0,97	R ² = 0,97	R ² = 0,90
Rovnice 76 % RH	C _{org} = 0,95 · TML ₃₃₀ + 0,17	C _{org} = 1,19 · TML ₃₅₀ – 0,08	N _{tot} = 0,08 · TML ₄₂₀ + 0,02
	R ² = 0,90	R ² = 0,92	R ² = 0,85

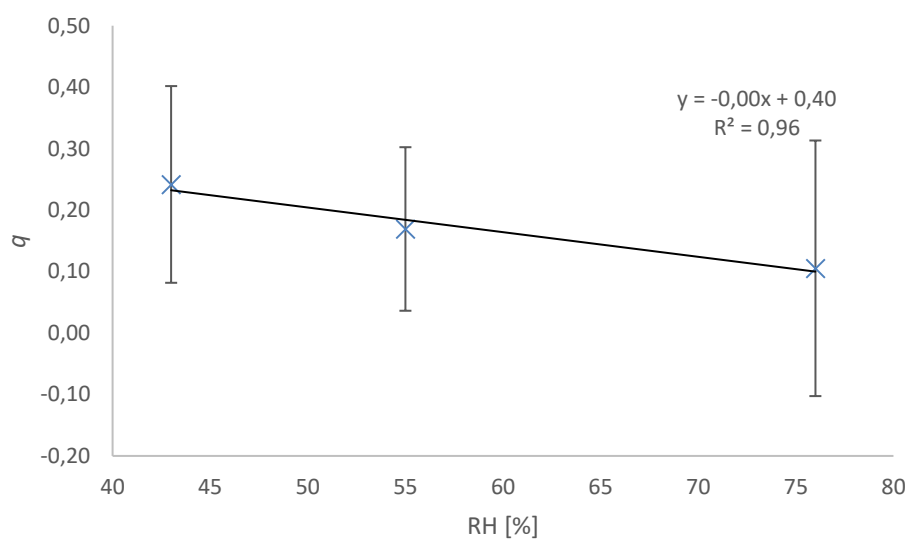
Christian Siewert ve své práci z roku 2004 odhalil, že existuje závislost obsahu C_{org} v půdách na TML₃₅₀ popsaná Rovnicí (1). Měření bylo provedeno při RH 76 % a byly pro něj využity jak zemědělsky obhospodařované, tak přírodní půdy z oblasti západního Ruska a střední Evropy. [23]

$$\begin{aligned} C_{org} &= 14,8 \cdot TML_{350} - 0,8 \\ R^2 &= 0,98 \end{aligned} \quad (1)$$

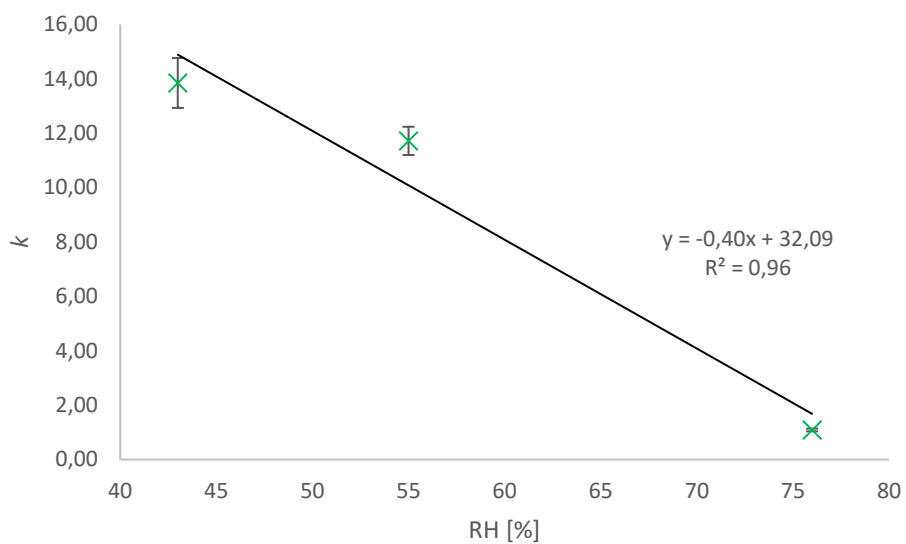
Z dalších výpočtů byla zcela vyloučena série měření při 30 % RH. Bylo to z toho důvodu, že naměřená data při výpočtech odpovídala spíše hodnotě kolem 50-60 % RH. Proto byly dodatečně ověřeny podmínky měření, tj. relativní vlhkost vzduchu v autosampleru při použití CaCl₂. Bylo zjištěno, že relativní vlhkost vzduchu odpovídá hodnotě přibližně 50 %, což prokazuje, že ve změřeném intervalu 43 až 76 jsou hodnoty k a q správné. Zjištěný problém mohl být způsoben tím, že sice lze snadno docílit požadované hodnoty RH v exsikátoru, za statických a snadno kontrolovaných podmínek. V autosampleru je ale situace komplikovanější, protože systém promývacích nádob umožňující udržet RH 43 % a vyšší, nelze použít pro RH 30 %. Při experimentu bylo pozorováno, že RH ovlivňuje více faktorů. Například při použití právě CaCl₂ byl problém v promývacích nádobách udržet přesycený roztok z důvodu vysoké rozpustnosti CaCl₂. Dále pak, na rozdíl od exsikátoru je třeba udržet nejen hladinu roztoku, ale také vystavit atmosféru nerozpuštěné soli, což nebylo dodrženo. Vzorky v autosampleru pak proto nebyly vystaveny RH 30 %, ale vyšší.



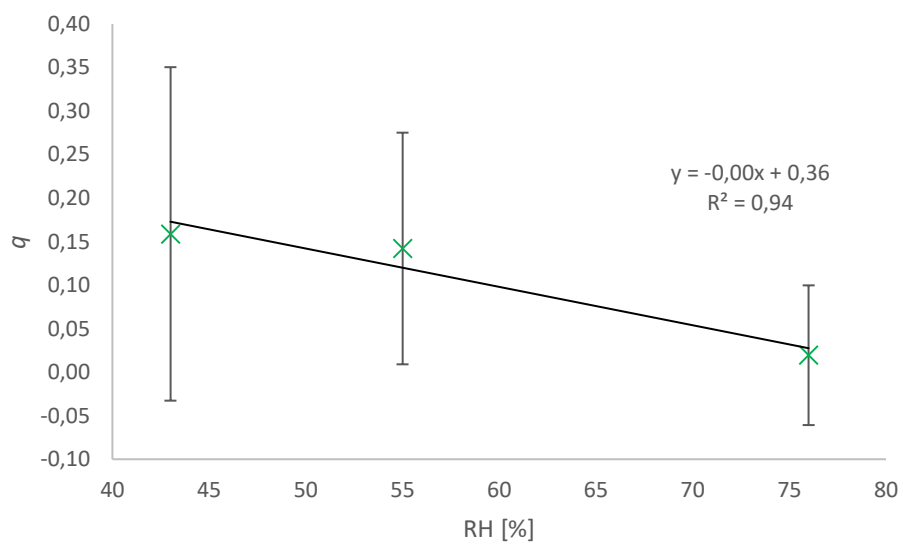
Graf 5: Závislost koeficientu k na RH pro C_{org} při TML_{330}



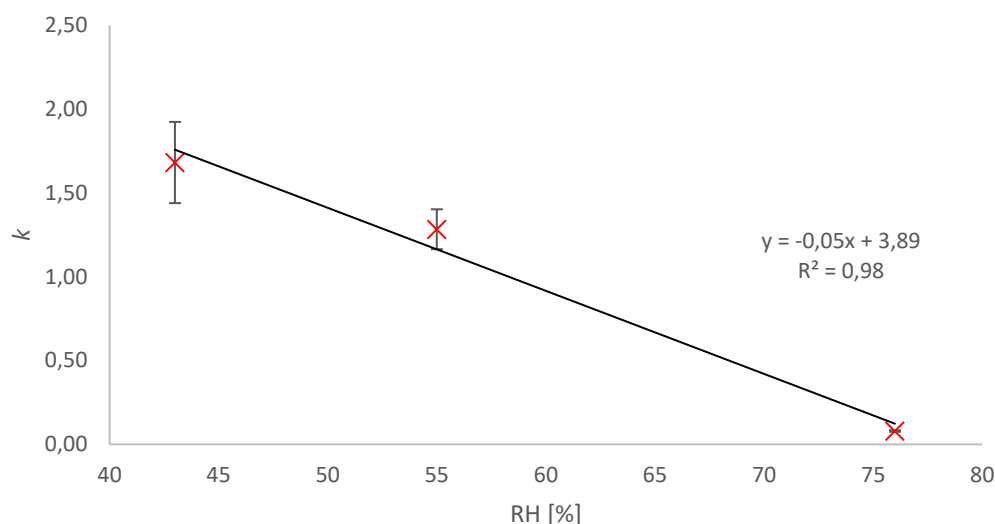
Graf 6: Závislost koeficientu q na RH pro C_{org} při TML_{330}



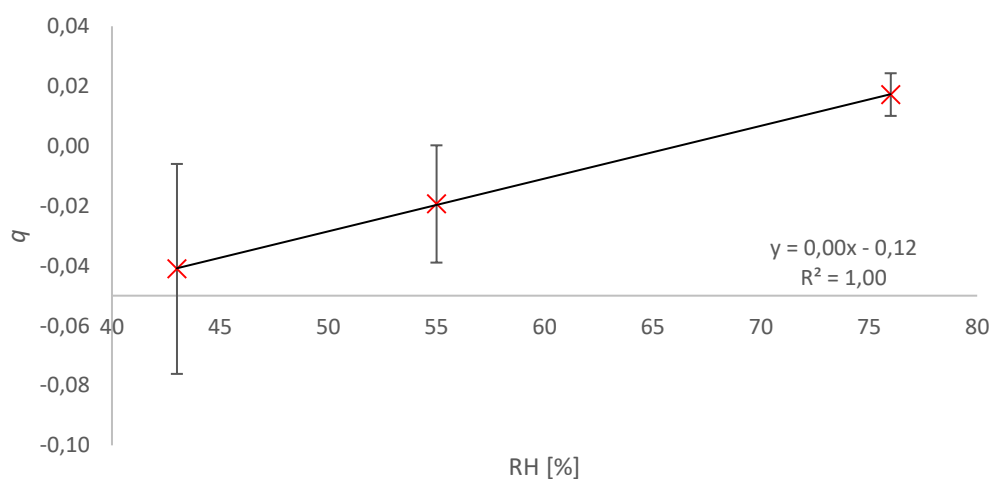
Graf 7: Závislost koeficientu k na RH pro C_{org} při TML_{350}



Graf 8: Závislost koeficientu q na RH pro C_{org} při TML_{350}



Graf 9: Závislost koeficientu k na RH pro N_{tot} při TML_{420}



Graf 10: Závislost koeficientu q na RH pro N_{tot} při TML_{420}

Bylo zjištěno, že existuje závislost mezi C_{org} a TML_{330} nezávisle na relativní vlhkosti. Stejně tak existuje závislost mezi C_{org} a TML_{350} závislost mezi N_{tot} a TML_{420} . Všechny tři zmíněné závislosti popisují rovnice, které uvádí Tabulka 8 níže.

Přestože byly prokázány existence závislostí mezi C_{org} a TML_{330} , C_{org} a TML_{350} a N_{tot} a TML_{420} , a to ve všech případech nezávisle na relativní vlhkosti, vytvoření validní měřicí metody by bylo nad rámec této práce. Chyby měření byly v některých případech velmi vysoké. Tato práce proto přináší potenciál do budoucna, kdy budou pokračovat práce proměřením vzorků při vícero relativních vlhkostech, čímž se zpřesní výpočet obsahu C_{org} a N_{tot} prostřednictvím změřených příslušných TML.

Tabulka 8: Rovnice pro výpočet C_{org} a N_{tot} ze známých hodnot TML a RH

Měřená veličina	Rovnice nezávislá na RH
C_{org}	$C_{org} = (-0,33 \cdot RH + 26,75) \cdot TML_{330} + 0,40$
	$C_{org} = (-0,40 \cdot RH + 32,09) \cdot TML_{350} + 0,36$
N_{tot}	$N_{tot} = (-0,05 \cdot RH + 3,89) \cdot TML_{420} - 0,12$

Platnost rovnic uvedených v Tabulka 8 byla ověřena kontrolním výpočtem, kterým byly získány teoretické hodnoty obsahu C_{org} a N_{tot} . Tyto hodnoty byly porovnány s hodnotami naměřenými elementární analýzou. Byla rovněž vypočtena procentuální chyba měření. Přehled výsledků zobrazují **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** až **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit, zda termogravimetrická analýza má potenciál v budoucnu alespoň zčásti nahradit klasickou elementární analýzu z hlediska měření vlastností půd. Konkrétně byly zkoumány obsahy organického uhlíku (C_{org}) a celkového dusíku (N_{tot}).

V oblasti západní Sibíře bylo v roce 2017 odebráno 67 vzorků půd – vzorky byly odebírány v různých lokalitách a vykazovaly proto velmi rozdílné vlastnosti, včetně obsahu zkoumaných složek (C_{org} a N_{tot}).

Výsledky práce poukazují na to, že termogravimetrická analýza se může v budoucnu stát rychlou analytickou metodou pro stanovení různých chemických ukazatelů pro různé půdní typy. Největší slabinou pro vytvoření validní měřicí metody se ukazuje být nereprodukovatelné nakládání se vzorky při elementární analýze a rovněž i obtížné udržení potřebné relativní vlhkosti v autosampleru při provádění termogravimetrické analýzy.

7 SEZNAM LITERATURY

- [1] HORNÍK, Stanislav, a kol. *Fyzická geografie II*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1986. 320 s.
- [2] NĚMEČEK, J., a kolektiv. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2., uprav. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2011.
- [3] VESELÁ, Lenka a Martin KUBAL. Struktura a vlastnosti přírodních huminových látek typu oxihumolitu. *Chemické listy* [online]. , 711-717 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2005_10_711-717.pdf
- [4] Krtek obecný. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Krtek#/media/Soubor:Talpa_europaea_MHNT.jpg
- [5] SCHLAGHAMERSKÝ, Jiří. *Úvod do půdní biologie*. Brno: Ústav botaniky a zoologie PřF MU, 2013, s. 35.
- [6] Pedosféra. *Zeměpisný web Daniela Svobody* [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: https://ostrava.educanet.cz/www/zemepis/obrazky/vyuka/kvinta/fyzickogeograficka_%20sfera/pedosfera/puda_rez.jpg
- [7] SÁŇKA, Milan a Jan MATERNA. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *Edice PLANETA: Odborný časopis pro životní prostředí* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2004, **12**(11/2004) [cit. 2019-11-02]. ISSN 1213-3393. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/\\$file/indikatory_el.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/$file/indikatory_el.pdf)
- [8] Půdoznalství - laboratorní cvičení. *Mendelu.cz* [online]. [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/199/16363.jpg
- [9] BECKER, Friedrich. Book Review: Inorganic Thermogravimetric Analysis. By C. Duval. *Angewandte Chemie International Edition in English* [online]. 1965, **4**(7), 616-617 [cit. 2019-11-02]. DOI: 10.1002/anie.196506163. ISSN 0570-0833. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/anie.196506163>
- [10] PA'E, Norhayati, Mohd Harfiz SALEHUDIN, Nor Diana HASSAN, Aishah Mohd MARSIN a Ida Idayu MUHAMAD. Thermal Behavior of Bacterial Cellulose-Based Hydrogels with Other Composites and Related Instrumental Analysis. MONDAL, Md. Ibrahim H., ed. *Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2019, 2019-01-05, s. 763-787 [cit. 2019-11-02]. Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series. DOI: 10.1007/978-3-319-77830-3_26. ISBN 978-3-319-77829-7. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-77830-3_26
- [11] RICHTER, Rostislav. *Půdní reakce* [online]. Brno, 28. 01. 2004 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/pudni_reakce.htm

- [12] Půda a horninové prostředí. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/b3.htm
- [13] Půdní mapy. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/pudni_mapy
- [14] KUČERÍK, Jiří a Christian SIEWERT. Practical application of thermogravimetry in soil science. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. 2014, **116**(2), 563-570 [cit. 2019-11-16]. DOI: 10.1007/s10973-013-3609-y. ISSN 1388-6150. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10973-013-3609-y>
- [15] SIEWERT, Christian, Michael Scott DEMYAN a Jiří KUČERÍK. Interrelations between soil respiration and its thermal stability. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. 2012, **110**(1), 413-419 [cit. 2019-11-16]. DOI: 10.1007/s10973-011-2099-z. ISSN 1388-6150. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10973-011-2099-z>
- [16] KUCERIK, Jiri, Michael S. DEMYAN a Christian SIEWERT. Practical application of thermogravimetry in soil science. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. 2016, **123**(3), 2441-2450 [cit. 2019-11-16]. DOI: 10.1007/s10973-015-5141-8. ISSN 1388-6150. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10973-015-5141-8>
- [17] HOOGSTEN, M. J. J., E. A. LANTINGA, E. J. BAKKER, J. C. J. GROOT a P. A. TITTONELL. Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss. *European Journal of Soil Science* [online]. 2015, **66**(2), 320-328 [cit. 2019-11-17]. DOI: 10.1111/ejss.12224. ISSN 13510754. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/ejss.12224>
- [18] Thermal Analysis. LENG, Yang. *Materials Characterization* [online]. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2013, 2013-08-02, s. 333-365 [cit. 2019-11-17]. DOI: 10.1002/9783527670772.ch10. ISBN 9783527670772. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9783527670772.ch10>
- [19] KUČERÍK, Jiří, Anna ČTVRTNÍČKOVÁ a Christian SIEWERT. Practical application of thermogravimetry in soil science. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. 2013, **113**(3), 1103-1111 [cit. 2019-11-22]. DOI: 10.1007/s10973-012-2849-6. ISSN 1388-6150. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10973-012-2849-6>
- [20] LEHMANN, Johannes a Markus KLEBER. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* [online]. 2015, **528**(7580), 60-68 [cit. 2020-01-30]. DOI: 10.1038/nature16069. ISSN 0028-0836. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/nature16069>
- [21] Kolorimetrické stanovení obsahu organického uhlíku v půdě. *Česká zemědělská univerzita v Praze* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://home.czu.cz/storage/55489_Kolorimetrick%C3%A9%20stanoven%C3%AD%20obsahu%20Cox.pdf

- [22] Význam půdních mikroorganismů pro produkční a mimoprodukční funkce půdy. *Mendelova univerzita* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3971&typ=html
- [23] SIEWERT, Christian. Rapid Screening of Soil Properties using Thermogravimetry. *Soil Science Society of America Journal* [online]. 2004, **68**(5), 1656-1661 [cit. 2020-05-07]. DOI: 10.2136/sssaj2004.1656. ISSN 03615995. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2004.1656>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

FA	Fulvokyseliny (Fulvic Acids)
HA	Huminové kyseliny (Humic Acids)
MLI	Hmotnostní ztráta spalováním (Mass Loss on Ignition)
RH	Relativní vlhkost (Relative Humidity)
TG	Termogravimetrie
TGA	Termogravimetrická analýza (ThermoGravimetric Analysis)
TML	Tepelně dosažená hmotnostní ztráta (Thermal Mass Loss)